

立体観察システム

Stereo-Observation System

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、広範囲の被写界深度を有する立体視内視鏡などの立体撮像装置が撮像した、視差を有する左右の像を、立体観察する場合に好適な立体観察システムに関する。

2. Description of the Related Art

近年、医療分野、特に外科分野において立体視内視鏡などの立体観察システムを用いた手技が普及しつつある。

もともと、従来内視鏡と専用処置具を用いた手技は、開腹手術を必要としていた疾病を内視鏡下で低侵襲に処置することを可能とした。さらに内視鏡が立体視化し、新たに得られた奥行き方向の情報は体内への処置具の誘導を確実にし、従来の内視鏡下での処置に比べ、より短時間に、より繊細で高度な処置を行うことを可能にした。このため、低侵襲手技である立体視内視鏡下での外科手術は、今後も発展が期待されている。

立体観察システムの観察系は通常２眼式であり、図１に示すように、視差を有する観察物体１の左右の像を撮像するための撮像光学系と撮像素子を内蔵した立体撮像ユニット２と、この立体撮像ユニット２からの左右像の映像信号により立体像を生成する立体映像信号処理ユニット３と、生成された立体像を表示する立体表示装置ユニット４の３つのユニットからなる。

そして、この立体観察システムでは、立体撮像ユニット２の撮像光学系により物体の像が撮像素子の撮像面に形成される。視差を有する左右の像を得るために、撮像光学系には様々な方式が用いられる。撮像素子で取得した左右の画像は、映像信号として立体撮像ユニット２から立体映像信号処理ユニット３に伝達される。立体映像信号処理ユニット３は後段の立体表示装置ユニット４に対応して必要な信号処理を行う。立体表示装置ユニット４は、立体映像信号処理ユニット３から送出された立体像を基に表示素子上に左右の画像を形成する。

左右の画像を分離して観察者の両眼に伝達するために、立体表示装置ユニット 4 にも様々の方式が存在する。立体表示装置の方式の代表的な一例として、観察者の顔面のごく近くに配置された光学系により直接、左右の画像に対応する観察者の左右の瞳（眼）に投光し、等価的に大画面の画像情報を虚像として立体観察させるようにした虚像立体観察式がある。

従来、立体視内視鏡と虚像立体観察式の表示装置とを組み合わせたシステムが提案されている（例えば、特開平 8－3 1 3 8 2 8 号参照）。この文献に記載の立体観察システムは、立体視内視鏡の画像を自然な臨場感で観察するために、立体視内視鏡の画角と、虚像立体観察式表示装置の画角との関係を定めたものである。

立体視内視鏡は、立体視用でない一般の内視鏡と同じく広い被写界深度を有し、被写体を被写界深度の範囲内で捉え、被写体に立体視内視鏡を近付けたり、被写体から遠ざけたりして所望の位置で観察する。被写界深度とは被写体がボケずに観察できる物体距離の範囲を言う。観察の際には、立体視内視鏡から被写体までの距離に応じた焦点調整や輻輳角度調整などを行わずに観察する。

図 2 A はこの様子を表した図である。図中、5 は立体視内視鏡、6 は立体視内視鏡保持アーム、7 は虚像立体観察式表示装置、8 は虚像立体観察式表示装置保持アーム、9 は観察者、図 2 B は立体視内視鏡 5 の先端部 1 0 の拡大図、1 1 は立体視内視鏡先端部、1 2 は立体視内視鏡光学系の左側入射瞳、1 3 は立体視内視鏡光学系の右側入射瞳、1 4 は立体視内視鏡の輻輳角、1 5 は立体視内視鏡の焦点位置、1 6 は立体視内視鏡の被写界深度範囲、1 7 は前記被写界深度範囲内で最も立体視内視鏡に近い位置 A にある被写体、1 8 は立体視内視鏡の焦点位置 B にある被写体、1 9 は前記被写界深度内で最も立体視内視鏡から遠い位置 C にある被写体をそれぞれ示している。

観察者 9 は前述のように立体視内視鏡を前後に操作して、被写体を図中 A の位置から C の位置の範囲で捉えて観察する。被写体位置が図中の A ～ C のそれぞれの位置にある場合の観察画像を示したものが 2 0 である。2 1 は被写体が位置 A にあるときの観察画像であり、2 2 は右眼用観察画像、2 3 は左眼用観察画像、2 4 は観察画像中心をそれぞれ示しており、被写体の画像 2 5 は左右の画像共に観察画像中心 2 4 に対してそれぞれ内側に寄っている。2 2' は被写体が位置 B に

あるときの観察画像であり、26は右眼用観察画像、27は左眼用観察画像をそれぞれ示しており、被写体の画像28は左右の画像共に観察画像中心24上にある。23'は被写体が位置Cにあるときの観察画像であり、29は右眼用観察画像、30は左眼用観察画像をそれぞれ示しており、被写体の画像31は左右の画像共に観察画像中心に対してそれぞれ外側に寄っている。このように、立体視内視鏡と被写体との距離に応じて観察像中の被写体像は互いに内側や外側に寄ることがある。

図3中、32は虚像立体観察式表示装置、33は右眼用接眼光学系、34は左眼用接眼光学系、35は右眼用画像表示手段、36は左眼用画像表示手段、37は右眼用画像表示手段上に表示された外側に寄った被写体の像、38は左眼用画像表示手段上に表示された外側に寄った被写体の像、39は観察者をそれぞれ示している。また、あらかじめある程度の輻輳角を持っている虚像立体観察式表示装置において、被写体像が互いに内側に寄った時には、図4に示すように左右の被写体像へ向かう観察者の視線が、虚像立体観察式表示装置によって作られた画像の虚像位置であり、眼のピント位置でもある40よりはるか手前で交差する。

図4中、41は虚像立体観察式表示装置、42は右眼用接眼光学系、43は左眼用接眼光学系、44は右眼用画像表示手段、45は左眼用画像表示手段、46は右眼用画像表示手段上に表示された内側に寄った被写体の像、47は左眼用画像表示手段上に表示された内側に寄った被写体の像、48は観察者、49は左右の被写体像へ向かう観察者の視線の交点をそれぞれ示している。右眼用接眼光学系42と左眼用接眼光学系43は角度 α の輻輳角をなすように配置されている。

図5に示すように、輻輳角 $\alpha 1$ の立体撮像装置1000で、被写体1001を、横に寝かせたもの（図5A）と、縦に立たせたもの（図5B）を撮像する。次に、図6に示すように図5の立体撮像装置の輻輳角 $\alpha 1$ よりかなり小さい角度の輻輳角 $\alpha 2$ を有する立体表示装置で、前記立体撮像装置で撮像した、横に寝かせた被写体と縦に立たせた被写体を観察すると、横に寝かせた被写体の観察像1002と、縦に立たせた被写体の観察像1003とでは、感じる長さが著しく変わる。このように、輻輳角が互いに大きく異なる立体撮像装置と立体表示装置とからなる立体観察システムにおいては、観察される被写体の空間に強い歪みを感じ

じることがある。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の立体観察システムは、入射瞳を少なくとも2つ有して互いに視差を有する左眼用の第1の像と右眼用の第2の像を撮像する撮像手段を有する立体撮像ユニットと、前記立体撮像ユニットで撮像した2つの像を表示する2つの画像表示手段を有する立体表示ユニットとからなる立体観察システムにおいて、前記画像表示手段により表示された前記第1の像の中心を見る観察者の左眼の視線と、前記画像表示手段により表示された前記第2の像の中心を見る観察者の右眼の視線が互いに輻輳角 α_2 をなすように前記立体表示ユニットを構成し、前記輻輳角 α_2 は以下の条件(1)を満たす。

$$(\alpha_1 - 2 \tan^{-1}(d/2L)) \times (w_2/w_1) \times 0.83 \leq \alpha_2 \leq \{2 \sin^{-1}(G/2D) - (2 \tan^{-1}(d/2S) - \alpha_1) \times (w_2/w_1)\} \times 1.2 \quad \cdots(1)$$

ただし、 α_1 は前記立体撮像ユニットの輻輳角（内向角）、 d は前記立体撮像ユニットの2つの入射瞳中心を結ぶ距離、 L は前記立体撮像ユニットの被写界深度の遠点から立体撮像ユニットの入射瞳までの距離、 S は前記立体撮像ユニットの被写界深度の近点から立体撮像ユニットの入射瞳までの距離、 w_1 は前記立体撮像ユニットの画角、 w_2 は前記立体表示ユニットの画角、 G は観察者の左右瞳孔間距離、 D は観察者の瞳孔位置から観察画像までの距離である。

また、本発明の立体観察システムは、好ましくは、以下の条件を満たす。

$$0.7 \leq \alpha_1 / \alpha_2 \leq 1.7 \quad \cdots(2)$$

立体撮像ユニットが有する輻輳角 α_1 と立体表示ユニットが有する輻輳角 α_2 が上記条件(2)を満たしていれば、前記立体観察システムにより観察される被写体の空間に強い歪みを感じること無く観察できることが、実験によりわかった。

被写体の空間の強い歪みとは、例えばある長さの棒を立てて観察して奥行き方向に感じる棒の長さ、同じ棒を横にして観察して感じる棒の長さが極端に一致しなくなること、をいう。上記条件(2)の下限を下回った場合、立てて観察した棒の長さが横にして観察した棒の長さよりはるかに長く感じる。また、前記条件の上限を上回った場合、立てて観察した棒の長さより横にして観察した棒の長

さの方がはるかに長く感じる。

本発明の立体観察システムによれば、好ましくは、前記立体撮像ユニットが、前記 2 つの入射瞳中心を結ぶ距離の 10 倍以上の被写界深度を有している。

また、本発明の立体観察システムによれば、観察時の疲労感などの障害の無い立体視観察を実現することができる。

These and other features and advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は立体観察システムの概念図である。

図 2 A 及び 2 B は従来の立体観察システムによる観察の様子を示す全体図及び一部拡大図である。

図 3 は従来の立体観察システムにおいて被写体像が互いに外側に寄った場合の説明図である。

図 4 は従来の立体観察システムにおいて被写体像が互いに内側に寄った場合の説明図である。

図 5 A 及び 5 B は従来の立体観察システムの問題点の説明図である。

図 6 A 及び 6 B は従来の立体観察システムの問題点の説明図である。

図 7 は被写界深度の定義の説明図である。

図 8 は立体撮像ユニットの輻輳角（内向角）の定義の説明図である。

図 9 は立体撮像ユニットの画角の定義の説明図である。

図 10 は撮像範囲の形状を限定した場合の画角の定義の説明図である。

図 11 は立体表示ユニットの画角の定義の説明図である。

図 12 は表示範囲の形状を限定した場合の画角の定義の説明図である。

図 13 は本発明の実施例 1 の立体観察システムの構成図である。

図 14 は本発明の実施例 2 の立体観察システムの構成図である。

図 15 は本発明の実施例 2 の表示装置の光学系の断面図である。

図 16 A 及び 16 B は本発明の実施例 2 の立体視内視鏡の詳細図である。

図 17 は本発明の実施例 3 の立体観察システムの構成図である。

図 1 8 は本発明の実施例 3 の表示装置の光学系の断面図である。

図 1 9 A 及び 1 9 B は本発明の実施例 3 の実体顕微鏡の詳細図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、図面を参照して本発明の立体観察システムの実施例を説明する。

説明に先立ち、被写界深度の定義と、本発明の立体観察システムの利点について説明する。図 7 は撮像ユニットの光軸に沿う断面図である。この図において、物体 O の像 I が形成される位置に撮像素子を配置することにより、ピントの合った像を得ることができるが、物体 O に撮像ユニットを近接させて O' の位置に物体を移動させると、像 I はずれて I' の位置に形成される。反対に、物体 O から撮像ユニットを離して O'' の位置に物体を移動させると、像 I はずれて I'' の位置に形成される。

ここで、撮像素子 C C D の位置は固定されているとすると、撮像素子 C C D の位置における像 I' 及び I'' は径 δ の錯乱円となり、この δ が撮像素子 C C D のピクセルピッチ P の 4 倍すなわち $\delta = 4 P$ までは、ピントボケした画像として観察されず、 $\delta > 4 P$ からピントボケした画像として観察される。

よって、物体 O' から O'' の範囲はピントが合っているように感じられ、この範囲を被写界深度と呼び、撮像光学系から物体 O' までの距離 X_n を被写界深度内の最近接距離（近点）、撮像光学系から物体 O'' までの距離 X_f を被写界深度内の最遠方距離（遠点）と定義する。この時の撮像光学系の実効口径比（F ナンバー）を F_{no} 、撮像光学系の焦点距離を $f L$ とすると、

$$|1/X_n - 1/X_f| = 2 \times 4 P \times F_{no} / f L^2$$

が成立する。ここで、被写界深度 D は $X_f - X_n$ で表される。

また、立体撮像ユニットが有する輻輳角（内向角） α_1 とは、図 8 に示すように、被写体 5 0 0 側から、立体撮像ユニット 5 0 1 が有する光学手段 5 0 2、5 0 3 のそれぞれの入射瞳 5 0 4、5 0 5 のうち、右眼側の入射瞳 5 0 5 の中心 5 0 6 を通って、かつ、右眼用撮像手段 5 0 7 の撮像面中心 5 0 8 を通る光線 5 0 9 と、同じく被写体 5 0 0 側から、左眼側の入射瞳 5 0 4 の中心 5 1 0 を通って、かつ、左眼用撮像手段 5 1 1 の撮像面中心 5 1 2 を通る光線 5 1 3 とのなす角度をいう。

また、立体撮像ユニットの画角 w_1 とは、図9に示すように、立体撮像ユニットが有する左眼用撮像手段514の撮像範囲515の対角直線516を、左眼用光学手段517で被写体側のある位置518に投影し、この投影された対角直線519の一方の端点520と左眼用光学手段517の入射瞳中心521を結ぶ直線522と、対角直線519の他方の端点523と入射瞳中心521を結ぶ直線524とのなす角度を言う。図示しない右眼側についても全く同様なため説明を省略する。

なお、図10に示すように、撮像手段525の撮像範囲の形状を、絞り526や電気的手段により丸形状などに限定する場合は、前記対角直線の代わりに限定撮像範囲541内の最大長を持つ直線527を用いる。

また、立体表示ユニットの画角 w_2 とは、図11に示すように、立体表示ユニットが有する左眼用画像表示手段536上に表示され、観察者により観察される左眼用画像528の対角直線529の一方の端点530と観察者の左眼531の瞳孔中心532を結ぶ直線534と、対角直線529の他方の端点533と観察者の眼531の瞳孔中心532を結ぶ直線535とのなす角度をいう。

また、左眼用画像528は、図12のような画像表示手段上に表示された画像そのものではなく、画像表示手段上に表示された画像を光学手段により投影した実像でもよく、もしくは同じく光学手段により投影された虚像でもよい。図示しない右眼側についても全く同様なため説明を省略する。

なお、図12に示すように、画像表示手段537の表示範囲538より小さく丸形状などに限定表示する場合は、前記対角直線の代わりに限定表示範囲539内の最大長を持つ直線540を用いる。

また、観察者の左右瞳孔間距離 G は、55mm～75mmの値をとり、平均値は65mmである。また、観察者の瞳孔位置から観察画像までの距離 D は、観察する画像が画像表示手段上に表示された画像であれば、観察者の瞳孔位置から画像表示手段の表示面までの距離となり、観察する画像が、画像表示手段上に表示された画像を光学手段により投影した実像や虚像であれば、上記 D は観察者の瞳孔位置から前記の実像や虚像までの距離となる。

この構成によると、立体撮像ユニットを被写界深度範囲内で被写体に対し最大

限遠ざけ、立体表示ユニットで観察される被写体像が観察画像中心に対して互いに外側に寄っても、左右の被写体像へ向かう観察者の視線のなす角度を打ち消すように立体表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、左右の被写体像へ向かう観察者の視線が外側に向いてしまうことが無く、融像を容易にでき、強度の疲労を感じることは無い。

また、立体撮像ユニットを被写界深度範囲内で被写体に対し最大限近付け、立体表示ユニットで観察される被写体像が観察画像中心に対して互いに内側に寄っても、左右の被写体へ向かう観察者の視線の交点が、観察者の両眼のピント位置より手前になる事が無いように立体表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、融像を容易にでき、強度の疲労を感じることは無い。よって、常に疲労感などの障害の無い立体視観察を実現できる。

実施例 1

図 1 3 は本実施例の立体観察システムの図である。

本実施例の立体観察システムは、立体視内視鏡ユニット 5 0、立体映像信号処理ユニット 5 1 と、図中 A ~ F に図示した各種立体表示ユニットのいずれかとなる。

図中 A の立体表示ユニットは、画像表示装置直接観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 5 2 と左眼用 LCD 5 3 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右の画像をそれぞれ表示し、左右眼用の LCD 5 2、5 3 から射出する光束は、複数枚のミラー 5 4 により観察者 5 5 の目前に導かれる。そして左右眼用の LCD 5 2、5 3 に表示された画像の中心 5 6 に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

図中、B の立体表示ユニットは、実像観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 5 7 と左眼用 LCD 5 8 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右眼用の画像をそれぞれ表示し、左右眼用の画像は、右眼用投影光学系 6 0 と左眼用投影光学系 5 9 により、フレネル凹面鏡からなるスクリーン 6 1 上に実像として重ねて投影される。又スクリーン 6 1 により、右眼用投影光学系 6 0 の射出瞳 6 2 は観察者 5 5 の右眼位置 6 3 に投影され、左眼用投影光学系 5 9 の射出瞳 6 4 は観察者 5 5 の左眼位置 6 5 に投影される。よって、観察者はスクリーン 6 1 上に重ねて

投影された左右眼用の画像の実像から右眼用の画像は右眼にて、左眼用の画像は左眼にて観察することができる。そして左右眼用の実像の中心 6 6 に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

図中 C の立体表示ユニットは、虚像観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 6 7 と左眼用 LCD 6 8 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右眼用の画像をそれぞれ表示し、右眼用接眼光学系 6 9 の光軸 7 0 は、右眼用画像の中心 7 1 を通っている。左眼用接眼光学系 7 2 の光軸 7 3 は左眼用画像の中心 7 4 を通っている。また、左右眼用の接眼光学系の光軸 7 0、7 3 は平行に配置されている。さらに、左右眼用の接眼光学系 6 9、7 2 の光線射出側にそれぞれ楔プリズム 7 5、7 6 が配置されている。よって観察者は左右眼用の接眼光学系により提供される左右眼用の画像の虚像を観察することができ、かつ、楔プリズム 7 5、7 6 の作用により、左右眼用の虚像の中心に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

図中 D の立体表示ユニットは、虚像観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 6 7 と左眼用 LCD 6 8 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右眼用の画像をそれぞれ表示し、右眼用接眼光学系 6 9 の光軸 7 0 は、右眼用画像の中心 7 1 を通っている。左眼用接眼光学系 7 2 の光軸 7 3 は左眼用画像の中心 7 4 を通っている。また、左右眼用の接眼光学系の光軸 7 0、7 3 は平行に配置されている。さらに、左右眼用の接眼光学系 6 9、7 2 の光線射出側に 1 つの凹レンズ 7 7 が配置されている。よって観察者は左右眼用の接眼光学系により提供される左右眼用の画像の虚像を観察することができ、かつ、凹レンズ 7 7 の作用により、左右眼用の虚像の中心に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

図中 E の立体表示ユニットは、虚像観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 6 7 と左眼用 LCD 6 8 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右眼用の画像をそれぞれ表示し、右眼用接眼光学系 6 9 の光軸 7 0 は、右眼用画像の中心 7 1 を通っている。また、左眼用接眼光学系 7 2 の光軸 7 3 は左眼用画像の中心 7 4 を通っている。また、左右眼用の接眼光学系 6 9、7 2 と左右眼用の LCD 6 7、6 8 とは、一体で前記左右眼用の接眼光学系の光軸 7 0、7 3 が $\alpha 2$ の角度をなすように配置されている。よって観察者は左右眼用の接眼光学系により提供され

る左右眼用の画像の虚像を観察することができ、かつ、左右眼用の接眼光学系の光軸 7 0、7 3 が $\alpha 2$ の角度をなすように配置されているため、左右眼用の虚像の中心に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

図中 F の立体表示ユニットは、虚像観察式の立体表示装置である。右眼用 LCD 6 7 と左眼用 LCD 6 8 とに、立体視内視鏡 5 0 により撮像された左右眼用の画像をそれぞれ表示し、右眼用接眼光学系 6 9 の光軸 7 0 は、右眼用画像の中心 7 1 を通らずに、外側にオフセットしている。また、左眼用接眼光学系 7 2 の光軸 7 3 は左眼用画像の中心 7 4 を通らずに、外側にオフセットしている。よって観察者は左右眼用の接眼光学系により提供される左右眼用の画像の虚像を観察することができ、かつ、左右眼用の接眼光学系の光軸 7 0、7 3 が、左右眼用画像の中心 7 1、7 4 に対して外側にオフセットしているため、左右眼用の虚像の中心に向かう観察者の左右の視線のなす角度は $\alpha 2$ である。

上記 A ～ F の各表示ユニットを、左右瞳孔間距離が 65mm の観察者が観察する時、各表示ユニットの画角 $w 2$ 、輻輳角 $\alpha 2$ 、観察者の瞳孔位置から観察画像までの距離 D は各表示ユニット全て同じ値をとり、 $w 2 = 35.2^\circ$ 、 $\alpha 2 = 5.6^\circ$ 、 $D = 430$ mm となる。さらに、立体視内視鏡ユニット 5 0 の輻輳角 $\alpha 1$ は 6.93° であり、2 つの入射瞳中心を結ぶ距離 d は 4.6mm、被写界深度範囲の最も立体視内視鏡ユニットから遠い位置（遠点）から入射瞳までの距離 L は 100mm、被写界深度範囲の最も立体視内視鏡ユニットに近い位置（近点）から入射瞳までの距離 S は 20mm、画角 $w 1$ は 60° である。

上記各パラメータの値を条件式(1)に当てはめると、

$$2.1^\circ \leq \alpha 2 \leq 6.05^\circ$$

となる。上記 A ～ F の各表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ は 5.6° であり、条件式(1)を満たす。よって、立体視内視鏡ユニットを被写界深度範囲内で被写体に対し最大限遠ざけ、各種立体表示ユニットで観察される被写体像が、観察画像中心に対して互いに外側に寄っても、左右の被写体像へ向かう観察者の視線のなす角度を打ち消すように立体表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、左右の被写体像へ向かう観察者の視線が外側に向いてしまうことが無く融像を容易にできるため、強度の疲労を感じることは無い。

また、立体視内視鏡ユニットを被写界深度範囲内で被写体に対し最大限近付け、上記各種立体表示ユニットで観察される被写体像が観察画像中心に対して互いに内側に寄っても、左右の被写体へ向かう観察者の視線の交点が、観察者の両眼のピント位置より手前になる事が無いように立体表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、融像を容易にでき、強度の疲労を感じることは無い。よって、常に疲労感などの障害の無い立体視観察が行なわれ得る。

さらに、前記立体視内視鏡ユニットの輻輳角 $\alpha 1$ と前記A～Fの各表示ユニットの輻輳角 $\alpha 2$ との関係は、 $\alpha 1 / \alpha 2 = 1.23$ となり、条件式(2)を満足する。よって、観察者は立体観察システムにより観察される被写体の空間に強い歪みを感じること無く観察することができる。

実施例 2

図 14 は本実施例の立体観察システムの図である。

本実施例の立体観察システムは、保持アーム 78 に保持された虚像立体観察式表示装置 79 と表示装置コントローラユニット 80 と、立体視内視鏡保持アーム 81 に保持された立体視内視鏡 82 と、立体映像信号処理ユニット 83 とからなっている。

図 15 は、本実施例の虚像立体観察式表示装置の光学系の構成を示した図である。図中 84 は対角長さ 6 インチの透過型 LCD、85 は光路偏向ミラー、86 は光路偏向プリズム、87 は接眼光学系、88 は観察者をそれぞれ示している。透過型 LCD 84 の表示面上には、立体視内視鏡 82 で撮像された左右の画像がそれぞれ表示され、観察者 88 は接眼光学系 87 を介して虚像として左右の画像を観察することができる。

また、接眼光学系 87 の光軸 89 は、光路偏向プリズム 86 と、光路偏向ミラー 85 によって、透過型 LCD 84 の表示面上に表示された画像の中心 90 を通っている。また、左右接眼光学系の光軸 89 は光路偏向プリズム 86 によって輻輳角 $\alpha 2$ を持つように配置されている。なお、本実施例の虚像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ は 5.6° 、画角 $w 2$ は 35.2° 、接眼光学系 87 により作られる観察画像の虚像位置から観察者の眼までの距離 D は 430mm、観察者の左右瞳孔間距離 G は 65mm である。

以下に、本実施例の虚像立体観察式表示装置光学系のレンズデータを記す。

	曲率	面間隔距離	硝材屈折率	硝材分散
LCD 表示面	平面	52.5		
ミラー反射面	平面	109.5		
プリズム入射面	平面	32.5	1.52	64.1
プリズム反射面	平面	35.5	1.52	64.1
プリズム出射面	平面	1		
R 1	163.082	4.3	1.58	41.5
R 2	64.347	5.7	1.49	70.2
R 3	平面	47.5		
アイポイント	—	- 430		
虚像位置	—			

次に、図 1 6 に本実施例の立体視内視鏡の詳細を示す。図 1 6 A は本実施例の立体視内視鏡の画角 w_1 を示したものである。9 1 は立体視内視鏡、9 2 は立体視内視鏡の入射瞳中心、9 3 は立体視内視鏡によって撮像される被写体をそれぞれ示している。本実施例の立体視内視鏡の画角 w_1 は 60° である。図 1 6 B は、本実施例の立体視内視鏡の輻輳角 α_1 と、遠点から立体視内視鏡の入射瞳までの距離 L と、近点から立体視内視鏡の入射瞳までの距離 S と、立体視内視鏡の左右入射瞳中心間距離 d を示したものである。9 8 は立体視内視鏡の被写界深度範囲を示している。

なお、本実施例においては、 $\alpha_1 = 6.93^\circ$ 、 $w_1 = 60^\circ$ 、 $L = 100\text{mm}$ 、 $S = 20\text{mm}$ 、 $d = 4.6\text{mm}$ である。これら各パラメータの値を条件式(1)に当てはめると、 $2.1^\circ \leq \alpha_2 \leq 6.05^\circ$ となる。本実施例の虚像立体観察式表示装置の輻輳角 α_2 は 5.6° であり、条件式(1)を満たす。よって、立体視内視鏡を被写界深度範囲内で被写体に対し最大限遠ざけ、虚像立体観察式表示装置で観察できる被写体像が観察画像中心に対して互いに外側に寄っても、左右の被写体像へ向かう観察者の視線のなす角度を打ち消すように虚像立体観察式表示装置の輻輳角 α_2 が設定されるため、左右の被写体像へ向かう観察者の視線が外側に向いてしまうことが無く融像を容易にできるため、強度の疲労を感じることは無い。

また、立体視内視鏡を被写界深度範囲内で被写体に対し最大限近付け、虚像立体観察式表示装置で観察できる被写体像が観察画像中心に対して互いに内側に寄っても、左右の被写体へ向かう観察者の視線の交点が観察者の両眼のピント位置より手前になる事が無いように虚像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、融像を容易にでき、強度の疲労を感じることは無い。よって、常に疲労感などの障害の無い立体視観察が得られる。

さらに、立体視内視鏡の輻輳角 $\alpha 1$ と虚像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ との関係は、 $\alpha 1 / \alpha 2 = 1.23$ となり、条件式(2)を満足する。よって、観察者は立体観察システムにより観察される被写体の空間に強い歪みを感じる事無く観察することができる。

実施例 3

図 18 は本実施例の立体観察システムの図である。

本実施例の立体観察システムは、保持アーム 102 に保持された実像立体観察式表示装置 103 と表示装置コントローラユニット 104 と、実体顕微鏡保持アーム 105 に保持された実体顕微鏡 106 と、立体映像信号処理ユニット 107 とからなっている。

図 19 は、本実施例の実像立体観察式表示装置の光学系の構成を示した図である。図中 108 は反射型 LCD、109 はビームスプリッタ、110 は反射型 LCD 用 LED 光源、111 は投影光学系、112 はフレネル凹面鏡 113 と透過型ホログラムデフューザ 114 とからなる反射スクリーン、115 は観察者をそれぞれ示している。

実体顕微鏡 106 で撮像された左右の画像は、反射型 LCD 108 の表示面上にそれぞれ表示され、かつ、投影光学系 111 により反射スクリーン 112 のごく近傍に実像として重ねて投影される。また、反射スクリーン 112 のレンズ作用と拡散作用により、右眼用投影光学系の射出瞳 116 は観察者の右眼位置 117 に拡大投影され、また、左眼用投影光学系の射出瞳 118 は観察者の左眼位置 119 に拡大投影される。よって、観察者は反射スクリーン 112 上に重ねて投影された左右眼用の画像の実像から、右眼用の画像は右眼にて、左眼用の画像は左眼にて観察することができる。そして、左右眼用の実像の中心 120 に向かう観

察者の左右の視線 1 2 1 は互いに輻輳角 $\alpha 2$ を持つように配置されている。なお、本実施例の実像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ は 5.3° 、画角 $w 2$ は 36.9° 、反射スクリーン上の実像位置から観察者の眼までの距離 D は 450mm 、観察者の左右瞳孔間距離 G は 65mm である。

図 1 9 は本実施例の実体顕微鏡の詳細を示した図である。図 1 9 A は本実施例の実体顕微鏡の画角 $w 1$ を示したものである。1 2 2 は実体顕微鏡、1 2 3 は実体顕微鏡の入射瞳中心、1 2 4 は実体顕微鏡によって撮像される被写体をそれぞれ示している。本実施例の実体顕微鏡の画角 $w 1$ は 30° である。また、図 1 9 B は、本実施例の実体顕微鏡の輻輳角 $\alpha 1$ と、遠点から実体顕微鏡の入射瞳までの距離 L と、近点から実体顕微鏡の入射瞳までの距離 S と、実体顕微鏡の左右入射瞳中心間距離 d を示したものである。1 2 9 は実体顕微鏡の被写界深度範囲を示している。

なお、本実施例の実体顕微鏡において、 $\alpha 1=6.93^\circ$ 、 $w 1=30^\circ$ 、 $L=370\text{mm}$ 、 $S=160\text{mm}$ 、 $d=21\text{mm}$ である。これら各パラメータの値を条件式(1)に当てはめると、 $3.76^\circ \leq \alpha 2 \leq 9.08^\circ$ となる。本実施例の虚像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ は 5.3° であり、条件式(1)を満たす。よって、実体顕微鏡を被写界深度範囲内で被写体に対し最大限遠ざけ、実像立体観察式表示装置で観察できる被写体像が観察画像中心に対して互いに外側に寄っても、左右の被写体像へ向かう観察者の視線のなす角度を打ち消すように実像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、左右の被写体像へ向かう観察者の視線が外側に向いてしまうことが無く融像を容易にできるため、強度の疲労を感じることは無い。

また、実体顕微鏡を被写界深度範囲内で被写体に対し最大限近付け、実像立体観察式表示装置で観察できる被写体像が、観察画像中心に対して互いに内側に寄っても左右の被写体へ向かう観察者の視線の交点を観察者の両眼のピント位置より手前になる事が無いように実像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ が設定されるため、融像を容易にでき、強度の疲労を感じることは無い。よって、常に疲労感などの障害の無い立体視観察が得られる。

さらに、実体顕微鏡の輻輳角 $\alpha 1$ と実像立体観察式表示装置の輻輳角 $\alpha 2$ との関係は $\alpha 1 / \alpha 2 = 1.31$ となり条件式(2)を満足する。よって、観察者は立体観察

システムにより観察される被写体の空間に強い歪みを感じることなく観察することができる。

What is claimed is:

1. 入射瞳を少なくとも2つ有して互いに視差を有する左眼用の第1の像と右眼用の第2の像を撮像する撮像手段を有する立体撮像ユニットと、前記立体撮像ユニットで撮像した2つの像を表示する2つの画像表示手段を有する立体表示ユニットとからなる立体観察システムにおいて、

前記画像表示手段により表示された前記第1の像の中心を見る観察者の左眼の視線と、前記画像表示手段により表示された前記第2の像の中心を見る観察者の右眼の視線が互いに輻輳角 $\alpha 2$ をなすように前記立体表示ユニットを構成し前記輻輳角 $\alpha 2$ は以下の条件を満たす立体観察システム。

$$(\alpha 1 - 2 \tan^{-1}(d / 2 L)) \times (w 2 / w 1) \times 0.83 \leq \alpha 2 \leq \{ 2 \sin^{-1}(G / 2 D) - (2 \tan^{-1}(d / 2 S) - \alpha 1) \times (w 2 / w 1) \} \times 1.2$$

ただし、 $\alpha 1$ は前記立体撮像ユニットの輻輳角（内向角）、 d は前記立体撮像ユニットの2つの入射瞳中心を結ぶ距離、 L は前記立体撮像ユニットの被写界深度の遠点から立体撮像ユニットの入射瞳までの距離、 S は前記立体撮像ユニットの被写界深度の近点から立体撮像ユニットの入射瞳までの距離、 $w 1$ は前記立体撮像ユニットの画角、 $w 2$ は前記立体表示ユニットの画角、 G は観察者の左右瞳孔間距離、 D は観察者の瞳孔位置から観察画像までの距離である。

2. 以下の条件を満たす請求項1に記載の立体観察システム。

$$0.7 \leq \alpha 1 / \alpha 2 \leq 1.7$$

3. 前記撮像ユニットが、前記2つの入射瞳中心を結ぶ距離の10倍以上の被写界深度を有する請求項1に記載の立体観察システム。

4. 前記撮像ユニットが、前記2つの入射瞳中心を結ぶ距離の10倍以上の被写界深度を有する請求項2に記載の立体観察システム。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

画像表示手段により表示された第1の像の中心を見る観察者の左眼の視線と、画像表示手段により表示された第2の像の中心を見る観察者の右眼の視線が互いに輻輳角 α_2 をなすように立体表示ユニットを構成し、前記輻輳角 α_2 は以下の条件を満たす。

$$(\alpha_1 - 2 \tan^{-1}(d/2L)) \times (w_2/w_1) \times 0.83 \leq \alpha_2 \leq \{2 \sin^{-1}(G/2D) - (2 \tan^{-1}(d/2S) - \alpha_1) \times (w_2/w_1)\} \times 1.2$$

ただし、 α_1 は立体撮像ユニットの輻輳角、 d は立体撮像ユニットの2つの入射瞳中心を結ぶ距離、 L は立体撮像ユニットの被写界深度の遠点から入射瞳までの距離、 S は立体撮像ユニットの被写界深度の近点から入射瞳までの距離、 w_1 は立体像ユニットの画角、 w_2 は立体表示ユニットの画角、 G は観察者の左右瞳孔間距離、 D は観察者の瞳孔位置から観察画像までの距離である。